

**PEMODELAN SISTEM DAN SIMULASI KERETA LISTRIK TENAGA  
SURYA MENGGUNAKAN HOMER *PRO SOFTWARE***



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I  
pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

**Oleh:**

**SYAHRUL RAMADHAN**

**D400170027**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA  
2021**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**PEMODELAN SISTEM DAN SIMULASI KERETA LISTRIK TENAGA  
SURYA MENGGUNAKAN HOMER *PRO SOFTWARE***

**PUBLIKASI ILMIAH**

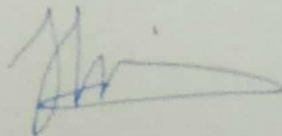
oleh:

**SYAHRUL RAMADHAN**

**D400170027**

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



**HASYIM ASY'ARI, S.T.,M.T.**

**NIK. 981**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**PEMODELAN SISTEM DAN SIMULASI KERETA LISTRIK TENAGA  
SURYA MENGGUNAKAN HOMER *PRO SOFTWARE***

**OLEH**

**SYAHRUL RAMADHAN**

**D400170027**

**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji  
Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Pada hari Kamis, 17 Juni 2021  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

**Dewan Penguji:**

**1. Hasyim Asy'ari, ST. MT**

(.....)

**(Ketua Dewan Penguji)**

**2. Agus Supardi, ST. MT**

(.....)

**(Anggota I Dewan Penguji)**

**3. Tindyo Prasetyo, ST. MT**

(.....)

**(Anggota II Dewan Penguji)**

**Dekan,**



**Sunarjono S.T., M.T., Ph.D**

**NIK. 628**

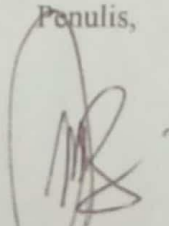
## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 1 Juni 2021

Penulis,



SYAHRUL RAMADHAN

D400170027

# PEMODELAN SISTEM DAN SIMULASI KERETA LISTRIK TENAGA SURYA MENGUNAKAN HOMER PRO SOFTWARE

## Abstrak

Penelitian ini membahas tentang pemodelan sistem dan simulasi energi terbarukan untuk kereta listrik, pada era masyarakat moderen energi matahari berpotensi menjadi energi alternatif pengganti energi bersumber dari fosil. Pertimbangan lingkungan menjadi faktor pengembangan kereta listrik tenaga surya bertujuan untuk menjadi alat transportasi terbarukan, ekonomis dan bebas emisi. Pemodelan ini menggunakan sistem PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) *on grid*. PLTS sendiri selain sel surya sebagai komponen utamanya, dibutuhkan komponen lain seperti unit kontrol, konverter dan *grid* sesuai dengan kebutuhan sisten *on grid*. Pemodelan sistem dilakukan dengan *software* HOMER dengan mengumpulkan data berupa; profil beban dan data *solar resources*. pemodelan sistem dapat dilakukan baik secara manual maupun dengan optimalisasi HOMER, Parameter ekonomi digunakan dalam simulasi ini *Net Present Cost* (NPC) dan *Cost of Energy* (COE). Sistem konfigurasi *on grid* kereta listrik tenaga surya yang paling optimal pada gardu traksi purwosari terdiri dari PV 2000 kW, MPPT 2000 kW, Grid PLN 5,540 MW dan konverter 2835 kW pada gardu traksi Gawok yang membedakan hanya konverter 3190 KW. Pada pemodelan Purwosari kontribusi PV sebesar 30 %, pada Gawok kontribusi PV sebesar 28,3 %. Dengan 1143 buah solar modul berdaya 350 Wp tersusun secara seri. Kelebihan tenaga listrik Purwosari sebesar 638.198 kWh/yr, Gawok sebesar 1.097.035 kWh/yr. Adanya selisih beban dari kedua gardu sebesar 467,26 kWh/d data *solar resources* sama dapat mempengaruhi hasil pemodelan yang sangat signifikan. Pada ke dua gardu traksi akan mengalami balik modal di tahun ke 1 pada bulan ke 3

**Kata Kunci:** *solar cell*, energi terbarukan, pemodelan sistem, *system on grid*, homer

## Abstract

This study discusses the modeling of renewable energy systems and simulations for electric trains, in the era of modern society solar energy has the potential to become alternative energy to replace fossil energy sources. Environmental considerations are a factor in the development of solar electric trains aiming to become a renewable, economical and emission-free means of transportation. This modeling uses a PLTS (Solar Power Plant) system on the grid. PLTS itself apart from solar cells as its main component, other components such as control units, converters and grids are needed according to the needs of the on-grid system. System modeling is done using HOMER software by collecting data in the form of; load profile and solar resources data. system modeling can be done either manually or with HOMER optimization. The economic parameters used in this simulation are Net Present Cost (NPC) and Cost of Energy (COE). The most optimal on-grid configuration system for solar electric trains at the Purwosari traction substation consists of 2000 kW PV, 2000 kW MPPT, 5.540 MW PLN grid and 2835 kW converter at the Gawok traction substation, the only difference being the 3190 KW converter. In Purwosari modeling the PV contribution is 30%, in Gawok the PV contribution is 28.3%. With 1143 solar modules with a power of 350 Wp arranged in series. The excess electric power in Purwosari is 638,198 kWh/yr, Gawok is 1,097,035 kWh/yr. The difference in the load of the two substations of 467.26 kWh/d of the same solar resources data can affect the modeling results very significantly. The two traction substations will experience a return on investment in the 1st year in the 3rd month.

**Keywords:** solar cell, renewable energy, system modeling, on grid system, homer

## 1. PENDAHULUAN

Pada era masyarakat moderen energi matahari berpotensi menjadi energi alternatif pengganti energi bersumber dari fosil. Sebab, energi ini banyak mengeluarkan polusi dan sulit diperbaharui. Berbeda dengan energi matahari yang mudah didapat dan bebas polusi. Dalam usaha untuk menanggulangi persoalan lingkungan, PT. KAI (persero) dapat mengaplikasikan cara baru dengan pemanfaatan sumber energi terbarukan (Syah dkk, 2014). Teknologi energi terbarukan memberikan peluang untuk mitigasi pemanasan global, diperkirakan bahwa setiap MWh yang dihasilkan oleh energi terbarukan dapat mengindari 300 kg CO<sub>2</sub> (Nazir, 2019). Jaffery dkk. (2012). mengungkapkan bahwa sektor transportasi mengkonsumsi 61,7% minyak dunia dan kontribusinya sebesar 13,4% terhadap efek rumah kaca, pertimbangan lingkungan menjadi faktor pengembangan kereta listrik dimasaklalu menjadi usaha dalam diwujudkan dalam pemanfaatan moda transportasi kereta listrik tenaga surya (Takahashi dkk, 2008).

Kereta Api Tenaga Surya merupakan alat transportasi independen yang secara khusus ditenagai oleh energi matahari. Sistem pengambilan keputusan dan kontrol yang secara efisien dapat mengatur sistem energi yang bertujuan untuk menjadi alat transportasi terbarukan, ekonomis dan bebas emisi.(Feria, 2012). Untuk memanen energi matahari membutuhkan perangkat sel surya. Perangkat tersebut merupakan sebuah alat yang dapat mengkonversi energi panas dari matahari menjadi energi listrik dengan proses yang disebut efek *photovoltaic*, maka dari itu dinamakan juga *Photovoltaic cell* (PV). (Purwoto dkk, 2017). Pembangkit tenaga surya sendiri selain sel surya sebagai komponen utamanya, dibutuhkan komponen penunjang seperti unit kontrol serta konverter sesuai dengan kebutuhan sisten on grid. Pemodelan komponen tersebut dapat dilakukan dengan software HOMER.

*Software HOMER (Hybrid Optimization Model of Electric Renewable)* merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk pengoptimalan desain sistem pembangkit listrik. HOMER berfungsi penggabungan komponen, sumber energi, dan perhitungan ekonomi. Hal tersebut dapat membantu tugas evaluasi pemodelan *on-grid* untuk berbagai aplikasi menjadi lebih sederhana (Fofang & Tanyi, 2020). *Software* ini melakukan kalkulasi energi untuk setiap pemodelan sistem yang akan dipertimbangkan. Keunggulan perangkat lunak ini adalah simulai dapat dengan mudah dilakukan penggunaannya, Secara otomatis menemukan konfigurasi sistem optimal yang bisa mensuplai beban dengan biaya sekarang (NPC) terendah, dan menggunakan parameter sensitifitas untuk hasil yang akurat (Bachtiar & Syafik, 2016). Berikut adalah beberapa standar di HOMER:

### 1.1 Pemodelan Panel PV

Perhitungan produksi panel surya pada HOMER menggunakan formulasi metode diferensial untuk penyelesaian permasalahan ( Purba dkk, 2017). Formulasi yang diguakan sebagai berikut:

$$P_{PV} = Y_{PV} \times f_{PV} \left( \frac{G_T}{G_{T,STC}} \right) [1 + a_p (T_c - T_{c,STC})] \dots \dots \dots (1)$$

$Y_{PV}$  : Kapasitas PV [kW]                       $a_p$  : Koefisien suhu daya [%/°C]  
 $f_{PV}$  : Faktor penurunan PV [%]       $G_{T,STC}$  : Radiasi pada Kondisi Uji Standar [1 kW/m<sup>2</sup>]  
 $G_T$  : Radiasi matahari [kW/m<sup>2</sup>]       $T_{c,STC}$  : Suhu di bawah kondisi pengujian standar PV [25 °C]  
 $T_c$  : Suhu PV [°C]                       $P_{PV}$  : *Output* dari array PV

### 1.2 Net Present Cost (NPC)

*Net present cost* adalah biaya bersih saat ini berdasar analisa biaya terkait dengan instalasi, pengoprasian dan perawatan komponen. HOMER akan mengurutkan keluaran ekonomi, data hasil simulasi dan optimasi berdasar nilai NPC terendah (Mehta & Basak, 2020). Berikut persamaannya :

$$C_{NPC} = C_{ann,tot} / CRF(i, Rpoj) \dots \dots \dots (2)$$

$C_{ann,tot}$  : Total biaya tahunan (Rp/tahun)                       $N$  : Jumlah tahun  
 $CRF$  : Faktor penutupan modal                       $i$  : Suku bunga (%)  
 $Rpoj$  : Lama waktu suatu proyek (tahun)                       $C_{NPC}$  : biaya bersih sekarang (Rp)

Faktor penutupan modal didapatkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$CRF(i, N) = i(1+i)^N / (1+i)^N - 1 \dots \dots \dots (3)$$

### 1.3 Suku Bunga Tahunan (*interest rate*)

Suku bunga tahunan dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$i = i'f / 1 + f \dots \dots \dots (4)$$

$i$  : Suku bunga *real*                       $f$  : Tingkat inflasi tahunan  
 $i'$  : Suku bunga nominal

### 1.4 Cost of energy (COE)

COE adalah biaya rata-rata per kWh produksi energi listrik yang terpakai oleh sistem. Untuk menghitung COE, biaya produksi energi listrik per tahun dibagi dengan jumlah energi listrik terpakai yang diproduksi (Cetinbas, 2019). Persamaannya sebagai berikut :

$$COE = \frac{C_{ann,tot} - C_{boiler} H_{thermal}}{E_{served}} \dots \dots \dots (5)$$

$C_{ann,tot}$  : Biaya total sistem (Rp/tahun)       $H_{thermal}$  : Total beban *thermal* (kWh/tahun)  
 $C_{boil}$  : Marjin biaya *boiler* (Rp/kWh)       $E_{served}$  : Total beban listrik (kWh/tahun)

Maka pendapatan per tahun persamaanya sebagai berikut :

$$Pendapatan \text{ per tahun} = COE \times Primary \text{ Load} \dots \dots \dots (6)$$

### 1.5 Break Even Point (BEP)

*Break even point* merupakan nilai investasi dan pendapatan berada pada titik 0, atau pada kondisi tidak mengalami kerugian dan keuntungan. Nilai BEP diperlukan untuk memperkirakan mulai mengalami



balik modal pada tahun ke berapa. *Software* Homer tidak menghitung nilai BEP, maka digunakan perhitungan secara manual (Bagaskoro & Windarta, 2019) dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{BEP (Unit)} = \frac{\text{Fixed Cost}}{\text{COE} - \text{Variable Cost}} \dots \dots \dots (7)$$

*Fixed Cost* = biaya tetap

COE = biaya rata-rata per kWh produksi energi listrik

*Variable Cost* = biaya operasi dibagi beban utama DC

Persamaan pendapatan yang diterima agar terjadi BEP sebagai berikut :

$$\text{Pendapatan BEP} = \text{BEP (Unit)} \times \text{COE} \dots \dots \dots (8)$$

## 2. METODE

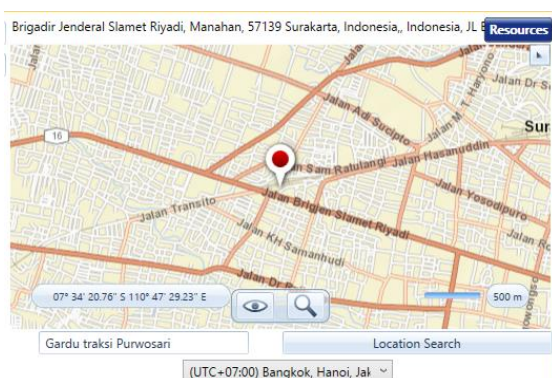
### 2.1 Studi Literatur

Penelitian dimulai dengan studi literatur melakukan kajian dan *browsing* dan *download* di internet baik jurnal nasional, internasional, website maupun buku-buku yang berkaitan untuk mendapatkan sebuah referensi dalam sebuah masalah yang diteliti.

### 2.2 Pengumpulan Data

#### 2.2.1 Lokasi Pemodelan Kereta Listrik Tenaga Surya

Aplikasi HOMER memiliki fitur secara otomatis untuk mencari dan menentukan titik lokasi dengan *map* mengunduh sumber yang diperlukan melalui *NASA Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER)* (Wurangian dkk., 2021). Lokasi yang digunakan peneliti adalah gardu traksi stasiun Purwosari dan Gawok. kebutuhan listrik tiap gardu menggunakan energi yang cukup besar, sehingga membutuhkan biaya yang cukup tinggi. Penggunaan listrik yang bersumber dari PLN sebesar 5.54 MVA tiap gardu, pihak KAI harus mengeluarkan uang Rp 1.4067/Kwh.



Gambar 1. Lokasi gardu traksi Purwosari



Gambar 2. Lokasi gardu traksi Gawok

#### 2.2.2 Solar Resources

Iradiasi matahari dan suhu merupakan salah satu faktor parameter utama yang berpengaruh dalam pembangkitan energi listrik dan keluaran daya panel surya (Windarta dkk., 2019). Data radiasi



matahari dan suhu di dapat dari website NASA *Surface meteorology and Solar Energy database* berdasarkan lokasi pemodelan. secara otomatis HOMER menampilkan data selama setahun dalam bentuk tabel. Dari data yang diperoleh gardu traksi Purwosari dan Gawok menghasilkan *solar resources* yang sama yaitu rata-rata radiasi matahari tahunan 4,80 kWh/m/day sedangkan suhu rata-rata 25.02 °C.

Monthly Average Solar Global Horizontal

Month	Clearness Index	Daily Radiati (kWh/m <sup>2</sup> /day)
January	0.397	4.280
February	0.414	4.470
March	0.437	4.590
April	0.483	4.720
May	0.531	4.730
June	0.540	4.550
July	0.557	4.800
August	0.561	5.250
September	0.545	5.540
October	0.506	5.390
November	0.439	4.710
December	0.427	4.570

Annual Average (kWh/m<sup>2</sup>/day): 4.80

Gambar 3. Radiasi Matahari Purwosari

Monthly Average Solar Global Horizontal

Month	Clearness Index	Daily Radiati (kWh/m <sup>2</sup> /day)
January	0.397	4.280
February	0.413	4.470
March	0.437	4.590
April	0.483	4.720
May	0.532	4.730
June	0.541	4.550
July	0.558	4.800
August	0.562	5.250
September	0.545	5.540
October	0.506	5.390
November	0.439	4.710
December	0.427	4.570

Annual Average (kWh/m<sup>2</sup>/day): 4.80

Gambar 4. Radiasi Matahari Gawok

Monthly Average Temperature Data

Month	Daily Temperature (°C)
January	25.100
February	25.150
March	25.370
April	25.390
May	25.050
June	24.530
July	24.200
August	24.550
September	25.080
October	25.430
November	25.270
December	25.070

Annual Average (°C): 25.02

Gambar 5. Suhu Purwosari

Monthly Average Temperature Data

Month	Daily Temperature (°C)
January	25.100
February	25.150
March	25.370
April	25.390
May	25.050
June	24.530
July	24.200
August	24.550
September	25.080
October	25.430
November	25.270
December	25.070

Annual Average (°C): 25.02

Gambar 6. Suhu Gawok

### 2.2.3 Beban

Data beban penelitian ini diambil dari keluaran panel *main feeder* gardu traksi stasiun Purwosari dan Gawok. data yang diminta dalam *software* ini adalah data beban per jam. Rata-rata beban per hari yang dikeluarkan gardu Purwosari untuk KRL sebesar 26783.95 kWh/d dapat dilihat pada tabel 1 sedangkan gardu Gawok sebesar 27701.21 kWh/d dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 1. Beban Gardu Traksi Purwosari

Jam	Beban (kW)	Jam	Beban (kW)	Jam	Beban (kW)
00.00	0	08.00	2027.888	16.00	1469.853
01.00	0	09.00	1634.904	17.00	1639.140
02.00	0	10.00	683.016	18.00	1436.206
03.00	0	11.00	1359.414	19.00	1396.789
04.00	982.992	12.00	1524.348	20.00	984.906
05.00	1622.295	13.00	1738.113	21.00	1536.641

(Lanjutan) Tabel 1. Beban Gardu Traksi Purwosari

Jam	Beban (kW)	Jam	Beban (kW)	Jam	Beban (kW)
06.00	1628.046	14.00	1742.470	22.00	0

07.00	1646.360	15.00	1730.575	23.00	0
<b>Total per hari</b>					26783.95 (kWh/d)

Tabel 2. Beban Gardu Traksi Gawok

Jam	Beban (kW)	Jam	Beban (kW)	Jam	Beban (kW)
00.00	0	08.00	1504.480	16.00	1569.543
01.00	0	09.00	2033.936	17.00	2058.348
02.00	0	10.00	512.603	18.00	1590.290
03.00	0	11.00	1551.186	19.00	1187.314
04.00	0	12.00	1426.248	20.00	1235.955
05.00	1158.286	13.00	2024.176	21.00	2031.880
06.00	2007.390	14.00	2093.340	22.00	0
07.00	1431.486	15.00	1834.758	23.00	0
<b>Total per hari</b>					27251.21 (kWh/d)

#### 2.2.4 Ekonomi

**ECONOMICS**

Nominal discount rate (%): 4.50

Expected inflation rate (%): 2.19

Project lifetime (years): 20.00

System fixed capital cost (\$): 0.00

System fixed O&M cost (\$/yr): 0.00

Capacity shortage penalty (\$/kWh): 0.00

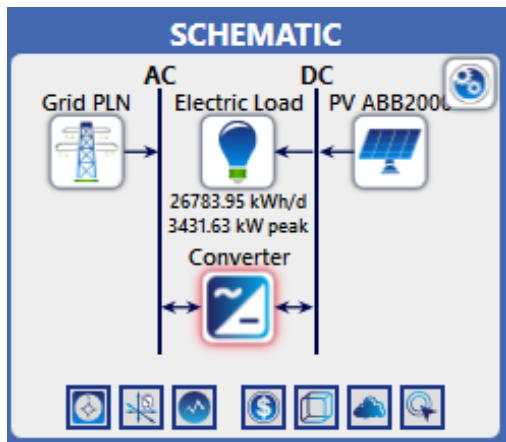
Currency: Indonesian Rupiah (Rp)

Gambar 7. Data *Economic Inputs*

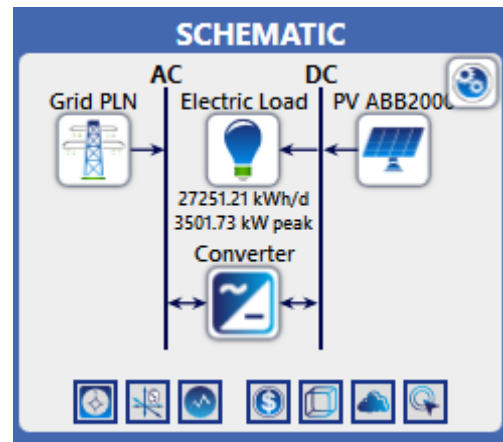
Parameter ekonomi yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari tingkat diskonto nominal (%), tingkat inflasi yang diharapkan (%) dan masa pakai proyek (tahun) dengan mata uang dalam bentuk Indonesia Rupiah (Rp).

### 2.3 Pemodelan Sistem

Pemodelan sistem PLTS *on grid* pada kereta listrik dilakukan menggunakan *software* HOMER-Pro dengan komponen *grid* PLN (5.54 MVA), *Converter* dengan opimalisasi HOMER tidak boleh diatas (5.551 MW) dan dibawah (0), PV ABB PVS980-2000 (2000 KW), MPPT (*Maximum Power Point Tracker*) (2000 kW) dan beban *main feeder* gardu traksi. Purwosari (26783.95 kWh/d) Gawok (27251.21 kWh/d). Untuk pemasok energi listrik mendapat sumber dari *grid* PLN dan panel surya.

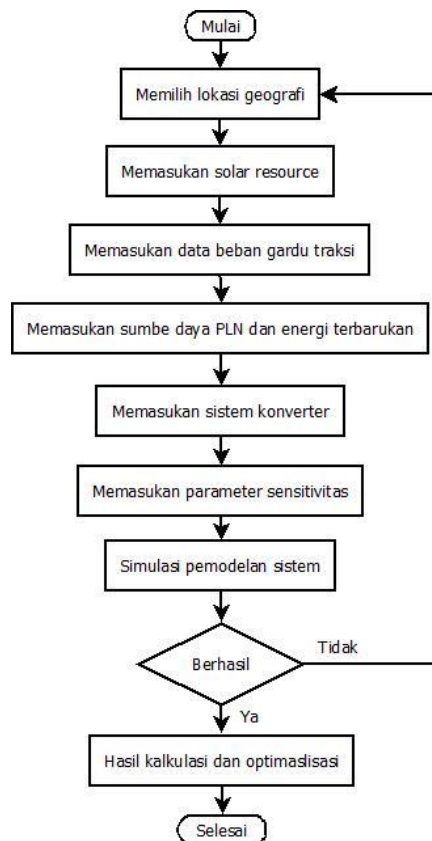


Gambar 8. Pemodelan Sistem *On Grid* gardu traksi stasiun Purwosari



Gambar 9. Pemodelan Sistem *On Grid* gardu traksi stasiun Gawok

## 2.4 *Flowchart* Penelitian



Gambar 10. *Flowchart*

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pemodelan sistem dan simulasi pada HOMER memberikan konfigurasi yang paling optimal, hasil kelistrikan dan hasil keluaran ekonomi. Konfigurasi akan disertai nilai NPC dari terendah sampai tertinggi. Tujuan utama optimasi menggunakan HOMER adalah untuk menghitung biaya daya per kWh (COE) dan NPC. Hasil optimal tergantung pada faktor radiasi matahari, suhu dan fraksi energi terbarukan.

### 3.1 Analisa Kelistrikan

#### 3.1.1 Pemodelan Sistem 1

Pada pemodelan sistem 1 didapatkan hasil simulasi konfigurasi sistem yang paling optimal yaitu berupa PV 2000 kW, MPPT 2000 kW, *Grid* PLN 5,540 MW, konverter 2835 kW gambar 11 dan produksi listrik yang dihasilkan yaitu produksi listrik dari PV sebesar 3.127.211 kWh/yr dengan fraksi 30%, *grid* PLN sebesar 7.286.711 kWh/yr dengan fraksi 70%. Total produksi listrik yang dihasilkan sebesar 10.413.982 kWh/yr. Konsumsi daya beban *primer* DC sebesar 9.775.784 kWh/yr. Didapatkan kelebihan tenaga listrik sebesar 638.198 kWh/yr.

Optimization Results													
Left Double Click on a particular system to see its detailed Simulation Results.													
Architecture				Cost				PV ABB2000		Converter	Grid PLN		
PV ABB2000 (kW)	PV ABB2000-MPPT (kW)	Grid PLN (kW)	Converter (kW)	COE (Rp)	NPC (Rp)	Operating cost (Rp)	Initial capital (Rp)	O&M (Rp)	Capital Cost (Rp)	Production (kWh)	Rectifier Mean Output (kW)	Energy Purchased (kWh)	
2,000	2,000	5,540	2,835	Rp1,077	Rp1688	Rp10.5B	Rp6.85M	Rp10.5B	6,000,000	3,127,211	790	7,286,771	
		5,540	2,973	Rp1,521	Rp2378	Rp14.9B	Rp892,009	Rp14.9B			1,116	10,287,646	

Gambar 11. Hasil Pengoptimalan Pemodelan 1

System Architecture:				Total NPC: \$167,891,500,000.00			
ABB PVS980-2000 with Generic PV (2,000 kW/2,000 kW) Grid PLN (5,500 kW)				Levelized COE: \$1,076.91			
Generic large, free converter (2,835 kW) HOMER Load Following				Operating Cost: \$10,527,190,000.00			
Cost Summary	Cash Flow	Compare Economics	Electrical	Renewable Penetration	ABB PVS980-2000 with Generic PV	Grid PLN	Generic large, free converter
Production		kWh/yr	%	Consumption		kWh/yr	%
ABB PVS980-2000 with Generic PV		3,127,211	30.0	AC Primary Load		0	0
Grid Purchases		7,286,771	70.0	DC Primary Load		9,775,784	100
Total		10,413,982	100	Total		9,775,784	100
Quantity		kWh/yr	%	Quantity		kWh/yr	%
Excess Electricity		273,859	2.63	Unmet Electric Load		358	0.00370
Capacity Shortage		9,773	0.100	Quantity		Value	
Renewable Fraction		25.5		Max. Renew. Penetration		542	

Gambar 12. Hasil Simulasi Kelistrikan Pemodelan 1

#### 3.1.2 Pemodelan Sistem 2

Pada pemodelan sistem 2 didapatkan hasil simulasi konfigurasi sistem yang paling optimal yaitu berupa PV 2000 KW, MPPT 2000 KW, *Grid* PLN 5,540 MW, konverter 3190 KW gambar 13 dan produksi listrik yang dihasilkan yaitu produksi listrik dari PV sebesar 3.127.397 kWh/yr dengan fraksi 28,3%, *grid* PLN sebesar 7.915.962 kWh/yr dengan fraksi 71,1%. Total produksi listrik yang dihasilkan sebesar 11.043.359 kWh/yr. Konsumsi daya beban *primer* DC sebesar 9.946.324 kWh/yr. Didapatkan kelebihan tenaga listrik sebesar 1.097.035 kWh/yr.

Optimization Results													
Left Double Click on a particular system to see its detailed Simulation Results.													
Architecture				Cost				PV ABB2000		Converter	Grid PLN		
PV ABB2000 (kW)	PV ABB2000-MPPT (kW)	Grid PLN (kW)	Converter (kW)	COE (Rp)	NPC (Rp)	Operating cost (Rp)	Initial capital (Rp)	Capital Cost (Rp)	Production (kWh)	Rectifier Mean Output (kW)	Energy Purchased (kWh)		
2,000	2,000	5,540	3,190	Rp1,150	Rp182B	Rp11.4B	Rp6.96M	6,000,000	3,127,397	813	7,915,962		
		5,540	3,283	Rp1,605	Rp255B	Rp16.0B	Rp984,943			1,135	11,050,746		

Gambar 13. Hasil Pengoptimalan Pemodelan 2

System Architecture:

ABB PVS980-2000 with Generic PV (2,000 kW/2,000 kW)

Grid (5,540 kW)

System Converter (3,190 kW)

HOMER Load Following

Total NPC:

Levelized COE:

Operating Cost:

Rp182,388,000.00

Rp1,149.83

Rp11,436,180,000.00

Cost Summary

Cash Flow

Compare Economics

Electrical

Renewable Penetration

ABB PVS980-2000 with Generic PV

Grid

System Converter

Emissions

Production	kWh/yr	%
ABB PVS980-2000 with Generic PV	3,127,397	28.3
Grid Purchases	7,915,962	71.7
Total	11,043,359	100

Consumption	kWh/yr	%
AC Primary Load	0	0
DC Primary Load	9,946,324	100
Total	9,946,324	100

Quantity	kWh/yr	%
Excess Electricity	305,439	2.77
Unmet Electric Load	367	0.00370
Capacity Shortage	9,927	0.0998

Quantity	Value
Renewable Fraction	20.4
Max. Renew. Penetration	721

Gambar 14. Hasil Simulasi Kelistrikan Pemodelan 2

### 3.1.3 PV Array

Pada perhitungan jumlah solar modul yang digunakan menggunakan hasil konfigurasi yang paling optimal yaitu dengan solar modul yang berkapasitas 2000 kW. *Eload* PV Array didapatkan sebesar 2000 kW dari daya total yang dibutuhkan PV untuk menjadi sumber dari beban.

$$P_{Array} = E_{Load} / 5 \dots \dots \dots (9)$$

Dari perhitungan nilai daya PV Array yang dibutuhkan sebesar 400 kWp. Spesifikasi satu solar modul adalah 350 Wp, jumlah solar modul dirumuskan sebagai berikut :

$$Jumlah\ solar\ modul = P_{Array} / P\ satu\ solar\ modul \dots \dots \dots (10)$$

Dari perhitungan jumlah solar modul yang dibutuhkan dengan daya satu solar modul 350 Wp, yaitu 1143 buah solar modul tersusun secara seri agar mendapatkan daya yang maksimal.

### 3.2 Analisa Ekonomi

Total biaya yang harus dikeluarkan oleh pengguna dalam menerapkan sistem PLTS yang menggunakan parameter diskonto nominal 5,50 %, inflasi yang diharapkan 2,19 % dan lama masa proyek 20 tahun.

Tabel 3. Analisa Ekonomi

Pemodelan sistem	COE	DC Primary Load	Pendapatan Per Tahun
<b>Gardu traksi Purwosari</b>	Rp. 1077 per kWh	9.775.784 kWh/y	Rp. 10.528.519.368
<b>Gardu traksi Gawok</b>	Rp. 1150 per kWh	9.946.324 kWh/y	Rp. 11.438.272.600

Dengan mengetahui rata-rata biaya operasional dan pemeliharaan, maka dapat dihitung nilai BEP (unit) dengan parameter sebagai berikut :

Tabel 4 *Break Even Point*

Parameter	Gardu traksi Purwosari	Gardu traksi Gawok
<b>Fixed Cost</b>	Rp. 6.850.000	Rp. 6.960.000
<b>Variable Cost</b>	Rp. 1074,08	Rp. 1146,15

<b>BEP</b>	Rp. 2.345.890,41	Rp. 1.807.792,207
<b>Pendapatan BEP</b>	Rp. 2.526.523.971,6	Rp. 2.078.961.038,1

Sehingga pendapatan yang diterima agar terjadi BEP untuk gardu traksi Purwosari Rp. 2.526.523.971,6 dan Gawok sebesar Rp. 2.078.961.038,1 dengan pendapatan per tahun sebesar Rp. 10.528.519.368 dan Gawok sebesar Rp. 11.438.272.600, nilai BEP pada ke dua gardu traksi tercapai di tahun ke 1 pada bulan ke 3.

#### 4. PENUTUP

Dari data yang sudah diperoleh dan dianalisa seperti diatas, Maka penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Sistem konfigurasi *on grid* kereta listrik tenaga surya yang paling optimal hasil simulasi menggunakan HOMER pada gardu traksi purwosari terdiri dari buah PV 2000 kW, MPPT 2000 kW, *Grid* PLN 5,540 MW dan konverter 2835 kW pada gardu traksi Gawok yang membedakan hanya konverter 3190 kW
2. Pada pemodelan Purwosari kontribusi PV sebesar 30 %, pada Gawok kontribusi PV sebesar 28.3 %. Dengan 1143 buah solar modul berdaya 350 Wp tersusun secara seri.
3. Konfigurasi yang paling optimal berdasarkan nilai NPC terendah yaitu Purwosari sebesar Rp. 168 Milyar dan kelebihan tenaga listrik 638.198 kWh/yr sedangkan Gawok Rp. 182 Milyar kelebihan tenaga listrik sebesar 1.097.035 kWh/yr
4. Adanya selisih beban dari kedua gardu sebesar 467,26 kWh/d data *solar resources* sama dapat mempengaruhi hasil pemodelan yang sangat signifikan.
5. Pada ke dua gardu traksi akan mengalami balik modal di tahun ke 1 pada bulan ke 3
6. Kereta listrik tenaga surya sangat mungkin direalisasikan tetapi mengeluarkan biaya yang sangat tinggi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Bachtiar, I. K., & Syafik, M. (2016). Rancangan Implementasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya ( PLTS ) Skala Rumah Tangga menggunakan Software HOMER untuk Masyarakat Kelurahan Pulau Terong Kecamatan Belakang Padang Kota Batam. *Jurnal Sustainable*, 5(02).
- Bagaskoro, B., & Windarta, J. (2019). Perancangan Dan Analisis Ekonomi Teknik Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem *Off Grid* Menggunakan Perangkat Lunak HOMER Di Kawasan Wisata Pantai Pulau Cemara. *Jurnal Transient* 8(2), 152–157.
- Çetinbas, İ., Tamyürek, B., & Demirta, M. (2019). *Design , Analysis and Optimization of a Hybrid Microgrid System Using HOMER Software : Eskişehir Osmangazi University Example*. *Journal of Renewable Energy Development* 8(1), 65–79.
- Feria, M. B. N. S., (2012). *Decision and control system of a solar powered train*. *Instituti Superior Tecnico Universidade Tecnica de Lisboa*.
- Fofang, T. F., & Tanyi, E. (2019). *Design and Simulation of Off-Grid Solar / Mini- Hydro Renewable*

*Energy System using Homer Pro Software : Case of Muyuka Rural Community. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) 9(09), 597-604.*

- Jaffery, S. H. I., Khan, H. A., Khan, M., & Ali, S. (2012). *A study on the feasibility of solar powered railway system for light weight urban transport. World Renewable Energy Forum, WREF 2012, Including World Renewable Energy Congress XII and Colorado Renewable Energy Society (CRES) Annual Conferen*, 3(March 2015), 1892–1896.
- Mehta, S., & Basak, P. (2020). *A Case Study on PV Assisted Microgrid Using HOMER Pro for Variation of Solar Irradiance Affecting Cost of Energy. June.* <https://doi.org/10.1109/PIICON49524.2020.9112894>
- Nazir, C. P. (2019). *Solar Energy for Traction of High Speed Rail Transportation : A Techno- Solar Energy for Traction of High Speed Rail Transportation : A Techno-economic Analysis.* Civil Engineering Journal 5(7), 1556-176 July. <https://doi.org/10.28991/cej-2019-03091353>
- Purba, H., Bachtiar, I. K., & Mujahidin, M. (2017). Simulasi Skenario Implementasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) 30 kWp On-Grid, 10 kWp Off-Grid, dan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) 10 kW Di Kampus Universitas Maritim Raja Ali Haji (UMRAH) Dompok Menggunakan Homer
- Purwoto, B. H., Jatmiko., Alimul, M., & Huda, I. F. (2017). Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif. Jurnal Emitor 18(01), 10–14.
- Syah, R. N., Hardianto, T., & Setiawan, A. (2014). Studi Kelayakan Penggunaan Atap Sel Surya Sebagai Sumber Energi Listrik di STasiun Kereta Api Jember. Artikel Ilmiah Hasil Penelitian Mahasiswa Tahun 2014.
- Takahashi, H., Kato, T., Ito, T., & Gunji, F. (2008). *Energy Storage For Traction Power Supply Systems. Hitachi Review*, 57(1), 28–32.
- Windarta, J., Sinuraya, E. W., Abidin, A. Z., Setyawan, A. E., & Angghika. (2019). Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Berbasis Homer di SMA Negeri 6 Surakarta Sebagai Sekolah Hemat Eenergi dan Ramah Lingkungan. Prosiding Seminar Nasional MIPA 2019 Universitas Tidar. 21–36.
- Wurangian, J. A., Rumbayan, M., & Tulung, N. M. (2021). Perancangan *Solar Home System* Menggunakan HOMER. 1–7.